

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-247878

(43)Date of publication of application : 03.09.1992

(51)Int.Cl.

G23C 16/50
G23F 4/00
H01L 21/205
H01L 21/285
H01L 21/302
H01L 21/31

(21)Application number : 03-190294

(71)Applicant : APPLIED MATERIALS INC

(22)Date of filing : 30.07.1991

(72)Inventor : COLLINS KENNETH S
RODERICK CRAIG A
YANG CHAN-LON
WANG DAVID N K
MAYDAN DAN

(30)Priority

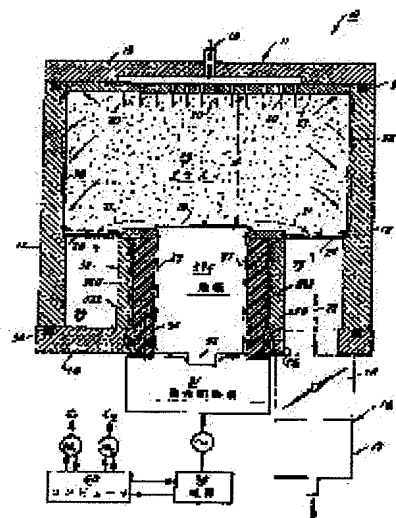
Priority number : 90 559947 Priority date : 31.07.1990 Priority country : US

(54) VHF/UHF REACTION APPARATUS

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a plasma enhanced reaction apparatus which uses high-frequency AC energy by constituting an electrode as part of an integrated coaxial transmission line structural body which directly connects AC energy to a chamber and forms plasma therein.

CONSTITUTION: The plasma processing reaction apparatus 10 is formed of the chamber 33 and the electrode 32C. The electrode 32C is constituted as part of the integrated coaxial transmission line structural body 32 which directly connects the AC energy of the selected frequency to the chamber 32 and forms the plasma therein. The integrated coaxial transmission line structural body 32 is opened by a central conductor 32C, insulator 32I and outer conductor 320 which are wafer supporting electrodes. As a result, the vapor deposition and energy velocity commercially executable for various kinds of the conductors, insulators and semiconductor blanks may be provided.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平4-247878

(43)公開日 平成4年(1992)9月3日

(51)Int.Cl. ³	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
C 2 3 C 16/50		7325-4K		
C 2 3 F 4/00	A	7179-4K		
H 0 1 L 21/205		7739-4M		
21/285	C	7738-4M		
21/302	B	7353-4M		

審査請求 未請求 請求項の数11(全 9 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平3-190294

(22)出願日 平成3年(1991)7月30日

(31)優先権主張番号 5 5 9 9 4 7

(32)優先日 1990年7月31日

(33)優先権主張国 米国 (US)

(71)出願人 390040660

アプライド マテリアルズ インコーポレ
イテッド

APPLIED MATERIALS, I
NCORPORATED

アメリカ合衆国 カリフォルニア州

95054 サンタ クララ パウアーズ ア
ベニュー 3050

(72)発明者 ケニス エス コリンズ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州

95037 モーガン ヒル 23 ウェスト

ダン アベニュー 260

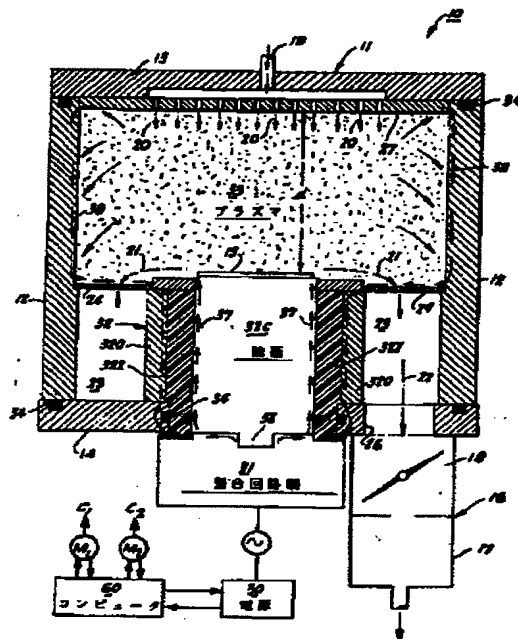
(74)代理人 弁理士 中村 稔 (外7名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 VHF/UHF反応装置

(57)【要約】

プラズマ処理反応装置(10)が開示されており、本装置は、AC電源(30)をプラズマ室(33)へ接続している低損失の、非常に短い伝送線路を形成している一体化同軸伝送線路構造体を結合しており、従って、プラズマを発生するVHF/UHF周波数を有効に使用することが出来る。50~800MHzの範囲のVHF/UHF周波数を使用することによって、一般的に実施可能な処理速度(個別あるいは同時のエッチングと蒸着)と13.56MHzなどの通常の周波数と比較してシース電圧の実質的な低下が可能である。結果として、電気的に敏感な、小さい幾何学的に配置された素子を破壊する確率は低下する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 室(33)と電極とより成るプラズマ処理反応装置(10)にして、電極(32C)が、選択された周波数のACエネルギーを前記室へ直接に接続して、そこにプラズマを形成する一体化された同軸伝送線路構造体(32)の一部であることを特徴とするプラズマ処理反応装置。

【請求項2】 一体化された同軸伝送線路構造体(32)が、ウェーハ支持電極である中央導電体(32C)と、絶縁体(32I)と、外側導電体(32O)とより成っていることを特徴とする請求項1に記載の反応装置。

【請求項3】 前記電極がウェーハ支持電極(32C)であり、前記反応装置がさらに、プラズマ室(33)を形成する壁(12)を有するハウジング(11)と、反応ガスをプラズマ室(33)へ供給する、ハウジング内に配置されたガス取入れマニホールド(27)と、真空ポンプ手段と、ウェーハ支持電極(32C)を囲みまたウェーハ支持電極を囲んでいる導電性スクリーン(24)と、ウェーハ支持電極(32C)の周辺部かつ前記スクリーン(24)を経て真空ポンプ手段への排気ガスの制御された放射状の流れを形成する、スクリーン(24)を経て真空ポンプ手段と接続しているプラズマ室(33)とより成り、一体化された同軸伝送線路構造体(32)が、ウェーハ支持電極(32C)と、ウェーハ支持電極(32C)を囲み、排気ガス・マニホールド(23)の内側壁を形成し、スクリーン(24)を経てプラズマ室の壁(12)へ電気的に接続した外側導電体(32O)と、ウェーハ支持電極(32C)と外側導電体(32O)との間にある絶縁体(32I)とより成り、この構成により、伝送線路構造体が、同軸ケーブルのように、ウェーハ支持電極(32C)に沿ってプラズマ室(33)へ、プラズマ室から室壁(12)とスクリーン(24)へ可逆的に接続していることを特徴とする請求項1に記載の反応装置。

【請求項4】 ACエネルギーが、可変分流コンデンサ(C_1)と可変直列コンデンサ(C_2)とより成る整合回路網(31)を経て、伝送線路構造体(32)へ供給されることを特徴とする請求項1から請求項3のうちのいずれかの請求項に記載の反応装置。

【請求項5】 さらに、ウェーハ支持電極(32C)と外側導電体(32O)とを接触せしめ、ACエネルギーを伝送線路構造体へ接続するために使用される整合回路網より成ることを特徴とする請求項3に記載の反応装置。

【請求項6】 ウェーハ支持電極(32C)が柱状電極(53)へ電気的に接続し、外側導電体(32O)が周辺電極へ接続するかあるいはこれを有し、整合回路網(31)が可変分流コンデンサ(C_1)と、柱状電柱(53)と周辺電極との間に接続した可変直列コンデン

サ(C_2)とより成ることを特徴とする請求項5に記載の反応装置。

【請求項7】 さらに、直列コンデンサ(C_2)と直列に接続した誘導子より成ることを特徴とする請求項4あるいは請求項6に記載の反応装置。

【請求項8】 伝送線路構造体(32)の長さが、選択された周波数において $1/4$ 電気的波長よりも十分に小さいことを特徴とする請求項1から請求項7のうちのいずれかの請求項に記載の反応装置。

【請求項9】 外部ACエネルギーが約50MHzから約800MHzの範囲内にあり、また、伝送線路構造体(32)の長さが、選択された周波数において $1/4$ 電気的波長よりも十分に小さいことを特徴とする請求項1から請求項7のうちのいずれかの請求項に記載のプラズマ処理反応装置。

【請求項10】 $n=1, 2, 3$ 、などであり、また、 λ が選択された周波数において外部ACエネルギーの波長である場合、伝送線路構造体(32)の物理的長さが $\lambda/2$ であることを特徴とする請求項1から請求項7のうちのいずれかの請求項に記載のプラズマ処理反応装置。

【請求項11】 ACエネルギーの周波数が約50MHzから約800MHzの範囲から選択され、また、 $n=1, 2, 3$ 、などであり、 λ が選択された周波数における波長である場合、伝送線路構造体(32)の長さが $n\lambda/2$ であることを特徴とする請求項1から請求項7のうちのいずれかの請求項に記載のプラズマ処理反応装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、RF(ラジオ波)プラズマ処理反応装置に関し、具体的には、プラズマを発生するUHF/VHFを使用する、発明的プラズマ反応装置である。

【0002】

【従来の技術】集積された幾何学的配列の密度を次第に高めた結果、構成要素と素子は、約200~300ボルト程度に低い電圧を印加されると、電気的に感知して、破損に敏感な同一基準の小さい幾何学的配列になった。

都合の悪いことに、このような電圧は、回路の構成要素が、標準的集積回路の組立工程において受ける電圧よりも低い。最初に、CVD(化学蒸着)とRIE(反応性イオンエッチング)の反応装置などの従来技術の半導体処理装置を考察する。これらの装置は、約10~500KHzの低周波から約13.56~40.68MHzの高周波までのラジオ周波数のエネルギーを使用している。約1MHz下では、イオンと電子は、振動電界と、プロラズマ内で発生したすべての定常状態の電界にとにより、加速される。このような比較的低い周波数では、ウェーハに形成された電極のシース電圧は、1キロボルト以上

3

のピークに達する。このピーク電圧は、破損しきい値200~300ボルトよりはるかに高い。数MHz以上では、電子は、なおも、変化する電界に追従することが出来る。さらに重いイオンは、変化する電界に追従することが出来ないが、定常状態の電界により加速する。この周波数帯域（及び実際のガス圧と電力レベルにおいて）において、定常状態のシース電圧は、数百ボルトから1000ボルト以上の範囲にある。

【0003】このバイアス電圧を低下する適切な方法は、磁界をプラズマに印加することである。このバイアス磁界は、ウェーハの表面に近い領域へ電子を閉じ込めてイオン束密度とイオン電流を増加し、この結果、電圧とイオンエネルギーの必要条件を軽減する。比較により、二酸化けい素をエッチングする。模範的な非磁気RIE法では、13.56MHzで供給されたRFエネルギーと、容積が10~15リットル、圧力が50ミリリットル、陽極の面積／ウェーハ支持陰極の面積の比が（8~10）~1の非対称形の装置とが使用されており、約800ボルトのウェーハ（陰極）シース電圧を発生する。60ガウスの磁界を印加すると、バイアス電圧は約25~30パーセント、800ボルトから約500~600ボルトへ低下し、エッチング速度は約50パーセント程度増加する。

【0004】しかし、静止した磁束密度Bの磁界をウェーハに平行に印加すると、EXBイオン／電子のずれと、ウェーハの面に直径方向に指向した関連プラズマ密度勾配とが発生する。このプラズマの勾配によって、ウェーハの全面に不均一なエッチング、蒸着、ほかの膜の特性が生じる。この不均一性は、磁界をウェーハの回りに回転することにより低減するが、一般的には、永久磁石の機械的運動により、あるいは、位相のずれ90度の、直角位相で駆動する数対の磁気コイルを使用することにより、または、数対のコイルの電流を瞬間的に制御して制御された速度で磁界を進ませるか、あるいは移動することにより低減する。しかし、磁界の回転によって不均一な勾配は低減するが、通常ではある程度の不均一さは残る。

【0005】さらに、磁界には、窓、スリットバルブ、ハードウェア、及び不連続部があることにより、変動を受けやすい他の欠点がある。従って、磁界を使用する場合には、磁界内の幾何学的配列と構成要素による影響を考慮して、真空室設計を周到な注意で行わなければならない。最終的には、完全ではなく、コイルを収容すること、特に、二つ以上の対のコイルを室の回りに収容して、コンパクトな装置を達成することは、困難である。これは、特に、共通の装荷ロックの周囲に、ヘルムホルツのコイル構造、あるいは、独立した磁気強化反応室のような多重室型の装置を使用する場合に困難である。

【0006】磁界強度と方向を瞬間的に選択して変えることが出来る能力を有し、また、コンパクトな多重室反

4

応装置に使用するために設計された斬新な反応方式が、米国特許No. 4,842,683、1989年6月27日発行、発明者チェング(Cheng)他に開示されている。ほかの周知の反応装置は、800MHz以上の周波数、一般に、2.45GHzのマイクロ波エネルギーを使用して、プラズマを励起している。この方法は、高密度のプラズマと低い分子エネルギーを発生して、電気的に誘起される素子の破損は、最小にしている。しかし、二酸化けい素の反応性エッチングなどの多くの処理の場合、最小反応しきい値のエネルギーを超えなければならない。この種の処理では、エネルギー障壁を起えるに十分な高電圧を発生するために、低周波電力が、マイクロ波電力のほかに供給されなければならない。従って、この反応装置では、二つの電源と整合回路網が必要であり、高価で複雑な装置となる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】ほぼ50MHzから800MHzの比較的に高周波のVHF/UHFエネルギーは、プラズマ処理中にウェーハに生じた電圧を低減する電位を有しているが、この周波数のエネルギーが、商業的成功の程度は別にして、半導体処理装置に使用されることがなかったことは理解される。部分的に、この不成功の理由は、この周波数帯域において非常に短い伝送線路が必要とされ、一般的には、エネルギーを室へ効率よく接続するための厳しい装置設計の必要条件によるものである。

【0008】

【課題を解決するための手段】1. 目的

上記説明の点から、本発明の目的は、プラズマを発生するために高周波ACエネルギーを使用するプラズマ反応装置を提供することである。本発明のほかの目的は、プラズマを発生するためにVHF/UHFエネルギーを使用するプラズマ反応装置を提供することである。

【0009】ほかの関連した目的は、厳しい高周波VHF/UHF設計必要条件に適合する方法で、プラズマを発生する装置の真空室へVHF/UHFエネルギーを接合するプラズマ反応装置を提供することである。さらにほかの目的は、反応装置自体が、VHF/UHFエネルギーなどの高周波エネルギーを反応装置のプラズマ室へ効率よく接続する伝送線路構造体として構成されているプラズマ反応装置を提供することである。

【0010】なお、ほかの関連した目的は、プラズマ処理中に半導体素子への電気的に誘発した破損を防止するために、200~300ボルトの十分に低い電極のシース電圧を特徴とする処理プラズマを発生する真空室へVHF/UHFエネルギーを効率よく接続するプラズマ反応装置を提供し、各種導電体、絶縁体及び半導体素材について商業的に実行可能な蒸着とエッチング速度を提供することである。

2. 要約

一面において、上記及びほかの目的を達成する本発明は、反応装置自体が、プラズマへACエネルギーを直接に接続する伝送線路構造体として構成されているプラズマ処理反応装置に実施されている。

【0011】ほかの面では、本発明は、プラズマ室とウェーハ支持電極とより成るRF給電のプラズマ処理反応装置に実施されており、前記ウェーハ支持電極は、プラズマを形成するためにACエネルギーを真空室へ結合する同軸伝送線路構造体の動作を行うように構成されている。好適に、伝送線路構造体が、約50MHz～800MHzの範囲から選択された周波数のACエネルギーを室に接続するために、使用されている。

【0012】好適に、伝送線路構造体は、(1)関係の周波数の波長の1/4よりかなり小さい長さ、(2)関係の周波数の波長の1/2の倍数、 $n=1, 2$ 、などから選択された有効電気的長さを備えている。ほかの面では、本発明は、プラズマ室を形成するハウジング、ハウジング内に配置されたウェーハ支持の円筒状電極装置、プラズマ室へ反応ガスを供給する、ハウジング内に置かれたガス取入れマニホールド、真空ポンプ装置、外部の電源からプラズマ室へ選択された周波数のACエネルギーを送るために使用する一体型伝送線路構造体より成るプラズマプロセス反応装置に実施されている。伝送線路構造体は、(1)円筒状電極装置、(2)円筒状電極装置を囲んでいる外側導電体、及び(3)円筒状電極装置と外側導電体との間にある絶縁体より成っており、この構成により、伝送線路構造体は、ACエネルギーを同軸ケーブルのように、円筒状電極装置に沿ってプラズマ室へ送り、さらに、プラズマ室からハウジングを経て外側導電体へ送る。プラズマ処理反応装置は、外側電極装置を囲んでいる環状排気マニホールドを適切に有している。このマニホールドは、円筒状電極装置の回りにある導電性ポンプ・スクリーンを備えている。排気ガスは、ウェーハ支持台の周辺部からポンプ・スクリーンを通過して真空ポンプ装置へ流れる。また、スクリーンは、外側導電体への電流路を形成するために、室壁を外側導電体へ電気的に接続している。

【0013】また、本発明は、外部ACエネルギーを伝送線路構造体へ効率よく送るために使用されている整合回路網を包含している。好適な組合せ配置において、円筒状電極装置は柱状電極より成っているか、あるいは、柱状電極に接続し、また、外部導電体は周辺電極より成っているか、あるいは、周辺電極へ接続し、また、整合回路網は、柱状電極と周辺電極との間の可変並列コンデンサと可変直列コンデンサとより成っている。

【0014】

【実施例】1. 反応装置10の概要

図1に関し、通常、参照番号10で表示され、高周波VHF/UHF反応室装置が示されており、これは本発明を具体化したものである。以下に説明する、二三の最新

な面の一つでは、反応装置自体は、高周波プラズマ発生エネルギーを整合回路網からプラズマ室33へ送る伝送線路構造体として部分的に構成されている(参照番号33は、室とそのなかのプラズマを示す)。この新しい組合せ伝送線路構造体は、第1に重要な周波数50～800MHzにおいて整合回路網と負荷との間の極めて短い伝送線路の必要条件を満足する。これにより、高周波プラズマを発生するエネルギーを、プラズマ電極へ効率よく制御可能に送ることが可能となり、低イオンエネルギー、低シース電圧において、商業的に認められるエッチングと蒸着とが行われる。この電圧は、電気的に敏感な半導体素子へ加えられる破損を防止するに、十分低い。その上、本VHF/UHF装置は、ECR及び磁気強化技術などの従来技術の種々の欠点を防止する。

【0015】本装置10は、上記真空室のハウジング11より成り、ハウジング11は、アルミニウムあるいは、ほかの適切な材料で形成され、側壁12と、上部と底部の壁13と14とを備えている。リングなど真空シール34が、多くの接合面の間に挿入されて、真空密閉を維持する。ハウジング11の内部は、一つ以上のポンプより成る真空装置により排気される。例えば、装置16は、機械的ポンプ(図示せず)と選択使用のルーツ型ブロワ(図示せず)とにより補助されたターボ分子ポンプより構成されており、流量とは関係なく圧力を調整するスロットル・バルブを介して、室33と接続している。当然のことであるが、ほかの修正及び配置も使用可能である。例えば、ターボ分子ポンプは、多くの高圧専用の装置により省略される。

【0016】反応ガスは、参照番号19で表示されているように、一般に、加圧された加圧されたガス源からコンピュータ制御の流量制御器(図示せず)を経て、ガスマニホールド27を通過して内部真空処理室33へ流入する。マニホールドは、シャワヘッド状、あるいは、ほかの適切な設計によるもので、エッチングガスあるいは蒸着ガスを室33へ送り、高周波RFエネルギー印加のときに、エッチングあるいは蒸着プラズマを発生する。周波数50～800MHzのVHF/UHFのエネルギーなどの高周波ACエネルギーが、電極32C(通常、装置の陰極という)、ウェーハ15を支持している電極32の上表面、及び反応室の側壁12、上部壁13、マニホールド27より成る第2の電極(装置の陽極)に加えられる。さらに、ほかの実施例も使用出来る。例えば、二三の高圧使用例、あるいは、約1:1の電極面積比(陽極面積:陰極面積=1:1)が望まれる場合、側壁12をプラズマから隔離すること、すなわち、側壁を陽極として使用するよりは、側壁から絶縁された二つの電極を使用することが適切である。

【0017】反応室装置11に取り入れられたほかの面には、ガス取入れマニホールド27の内部あるいは外部の温度を、ある値以上あるいは以下に、またはある範囲

内に維持するために、流体の熱伝達媒質を使用することがあるが、これに制約されるものではない。すなわち、陰極32Cを加熱あるいは冷却する流体の熱伝達媒質の使用、側壁12あるいは上部壁を加熱あるいは冷却する流体の熱伝達媒質の使用、陰極32Cの抵抗加熱、ウェーハ15と陰極32Cとの間のガスの熱伝達媒質の使用、及びウェーハ15を陰極32Cに締付ける機械的あるいは静電的装置などである。このような諸面は、米国特許第No. 4,872,947、1989年10月10日発行と、米国特許第No. 4,842,683、1989年6月27日発行に開示されている。

【0018】本真空室の設計は、高圧と低圧のいずれの動作にも有用であり、ウェーハ支持陰極32Cとガス取入れマニホールド電極との間の間隔dは、高圧と低圧のいずれの動作にも適合している。例えば、500ミリトル〜50トルの高圧動作は、間隔d<約5cmを使用することが適切であり、低圧動作の場合、2ミリトル〜500ミリトルの範囲で、間隔d>5cmが好適である。示されているように、真空室は一定の間隔dを採用するか、または、交換可能な、あるいは、自在伸縮の真空室の上部などの可変間隔設計を使用することが出来る。反応装置10は、酸化ケイ素と窒化ケイ素などの素材の高圧と低圧の蒸着と、二酸化ケイ素、窒化ケイ素、ケイ素、ポリシリコン及びアルミニウムなどの素材の低圧異方性反応イオンエッチングと、上記素材の蒸着とエッチバックの同時操作より成るCVD細面化(faceting)とに有用である。反応装置10が使用される、これらの及びほかの処理は、通常に譲渡された米国特許出願No. (Docket No. 151-2)、名称“半導体ウェーハに集積回路形成に使用するVHF/UHFプラズマ処理”、発明者コリンズ他に記載されており、このコリンズ他の特許出願が参考引用されている。

【0019】好適に、取入れマニホールド27からのガスの流れは、ウェーハ15へ向って下向きに進み、次に、ウェーハ15から放射状に外方へ排気される。このために、環状真空マニホールド23は、片側の側壁12と反対側の外部伝送線路導電体320との間と、底部の室底壁14と上部の導電性ポンプスクリーン24との間に、陰極伝送線路構造体32の回りに形成されている。マニホールド・スクリーン24は、真空マニホールド23と*

*プラズマ室33との間に挿入され、側壁12と伝送線路構造体32の外部導電体320との間に導電性電気回路を形成している。マニホールド23は、ウェーハ15の周辺部から排気ガスを均一に放射状に排出する環状排気溝を形成している。排気マニホールド23は、底壁14の一つ以上の開孔26を経て排気ガス装置16へ通じている。全体のガスの流れは、通常19に沿って取入れマニホールド27に入り、次に通路20に沿って取入れマニホールドからウェーハ15に向い、流路21に沿って放射状に外方へウェーハの周辺部からスクリーン24を通り、ガスマニホールドへ入り、流路22に沿って排気マニホールド23から排気装置へ入る。

【0020】さらに、図1と図2に関して、電源30から送られた周波数50〜800MHzの高周波VHF/UHFエネルギーは、整合回路網31へ入力され、そこから、参照番号32により集約して識別された室の構成要素により、室33と室内のプラズマに接続している。2. 伝送線路の必要条件下記の説明のように、集合構成要素32は、非常に低損失の同軸伝送線に近いものであり、また、整合回路網31が、負荷インピーダンスと非常に異なるインピーダンスを呈しないように、負荷インピーダンスZ_Lの変換を最小にする非常に短い同軸伝送線路でなければならない。

【0021】同軸ケーブル伝送線路32の特性インピーダンスZ₀は、(式1)により与えられる。

$$Z_0 = (\mu / \epsilon)^{1/2} 2\pi l_i (r_o / r_i)$$

ここで、

$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ 透磁率

$\mu_r = 1$ 非磁性材の場合

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ ヘンリ/メートル

$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$ 誘電率

ϵ_r = 誘導定数

$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ ファラド/メートル

r_o = 外部導電体の内側半径

r_i = 内部導電体の半径

Z_{in}は、伝送線路構造体が室内のプラズマで終わっている場合のこの構造体への入力インピーダンス(整合回路から見たインピーダンス)であり、特性インピーダンスZ₀の関数である。Z_{in}は、(式2)により与えられる。

【0022】

$$Z_{in} = Z_0 \cdot (Z_L + jZ_0 \tan \beta l) / (Z_0 + jZ_L \tan \beta l) \quad (2)$$

ここで、Z_Lはプラズマの負荷インピーダンスであり、lは伝送線路の物理的長さである。βは位相定数2π/λであり、λは関係素材の波長である。また、λ_{fs} = λ_{fs} / ((ε_r)^{1/2} × μ_r)であり、ここで、ε_rは比誘電率(誘電定数)、μ_rは比透磁率、λ_{fs}は自由空間における波長/メートルで、(300 × 10⁹メートル/秒) / (周波数Hz)である。

【0023】(式2)より、Z₀ = Z_Lならば、伝送線路の長さに関係なく、同一インピーダンスである。しか

し、品質が満されないならば、伝送線路インピーダンスは、Z_{in}をある新しいインピーダンスへ、λ/2の周期で変換する。この変換を最小にするため、伝送線路は、最大使用周波数において、ACエネルギーの波長の1/10から1/20程に非常に短くしなければならない。例えば、周波数13.56MHzの従来技術の場合、λ_{fs}は22.1メートルに等しい。しかし、例えば、300MHzの関係のある周波数において、λ_{fs}は非常に短く、約1メートルである。従って、300MHzの高周

波においては、整合回路網とプラズマ負荷との間の伝送線路構造体は、最大長さの必要条件を超えないように、0.05~0.1メートルより小さくしなければならない。

3. 伝送線路構造体32

適切な高周波同軸／伝送線路の設計では、低い特性インピーダンス経由の給電路、整合回路網からウェーハへの短い伝送線、伝送線路に沿った復帰路が必要である。この設計要件は、図1と図2に示された伝送線路構造体32により満足される。この構造体32は、陰極32Cと、同心円の環状導電体32Oと、陰極32Cを囲んで同心導電体から絶縁し、ほかの状態に破壊する処理ガスを排除する無孔性の低損失絶縁32Iとより構成されている。例えば、テフロンTMあるいは石英材は、高誘電強度、低誘電定数、及び低損失であるので、適切である。この構造体の入力側は、以下に述べる形態で整合回路網へ接続している。絶縁された陰極32Cと外側導電体32Oとは、整合回路網31とプラズマ33との間に分離した電流路を形成している。一つの可逆電流路37は、整合回路網から陰極32Cの外周部に沿って、電極の上表面のプラズマ外皮へ達している。もう一つの可逆電流路38は、プラズマ33からガスマニホール27と側壁12の上部の内側部分に沿い、次に、電導性排気マニホール24に沿い、外側導電体の内側を経て整合回路網に至る。留意すべきことは、排気マニホール24は、均一な放射状ガス排出装置の一部であり、また、RF電流の帰路でもある点である。

【0024】交流のエネルギーを加えている間、RF電流路は、示された方向とその逆の方向との間を交互に変わる。同軸ケーブル形の伝送線路構造体により、具体的には、陰極32Cの高い内部インピーダンス（その外側に対して）と、導電体32Oの外表面へ向って高インピーダンス（その内表面に対して）であることにより、RF電流は、同軸伝送線路のように、陰極32Cの外表面と外部導電体32Oの内表面を流れるようになる。約50~800MHzのVHF/UHFの高い動作周波数において、これらの電流は、1ミリの2/10~3/10程度の深さの表面厚さ、つまり表皮に集中する。しかし、大きいウェーハ、例えば、直径が4~8インチのウェーハ、及び同一基準の直径の陰極32Cと同様に大きい直径の外側導電体32Oを使用することにより、大きい有効な断面、すなわち、伝送線路構造体に沿った低インピーダンス電流路が形成する。

【0025】（式2）に示されているように、同軸型の伝送線路構造体32が、その特性インピーダンス Z_1 に等しい純粋な抵抗であるとすると、整合回路網は、伝送線路の長に関係なく、一定のインピーダンス Z_0 である。しかし、このようなことは、本発明の場合ではない。その理由は、プラズマは、ある範囲の圧力、電力、及び周波数で動作し、種々のガスより構成されており、これが、プラズマが伝送線路32の端部に現われるよう

な負荷インピーダンス Z_L を、集約的に変化せしめるからである。負荷 Z_L は、非理想的（すなわち、非無損失の）伝送線路32と整合しないので、伝送線路に持続的に現われる波動は、伝送線路と整合回路網との間の、抵抗性、誘電性などの損失を増加する。整合回路網31は、すべての持続する波動とこれにより起る損失を、増幅器あるいは電源30へ逆流する整合回路網の入力から除去するために、使用することが出来るが、整合回路網、伝送線路32、及び真空室内のプラズマは、伝送線路32と整合回路網との間に、抵抗性、誘電性などの損失を増加する共振系を構成している。手短かに言えば、負荷インピーダンス Z_L は損失と整合しないが、 $Z_L = Z_0$ の場合に最小である。

【0026】負荷の不整合による損失を低減するために、同軸型伝送線路構造体32は、プラズマ動作に関連した負荷インピーダンスの範囲に、最良に適合する特性インピーダンス Z_0 を有するように、設計されている。一般に、上述の動作変数と関係材料について、プラズマにより伝送線路へ誘起された、直列の等価RC負荷インピーダンス Z_L は、1オームから30オームの範囲内にある抵抗と、50ピコファラドから約400ピコファラドの範囲内のキャパシタンスとより成っている。この結果、最適なものとして、負荷インピーダンスの範囲内に中心のある、すなわち、約10オームから15オームの範囲にある伝送線路特性インピーダンス Z_0 を得た。

【0027】（式2）にそのほかに示されているように、伝送線路32は、整合回路網が受けるプラズマのインピーダンスの変換を防止するために、非常に短いことが必要である。好適に、伝送線路は、 $1/4$ 波長、 $\lambda/4$ よりかなり小さく、さらに好適に、約(0.05~0.1) λ である。さらに一般的には、 $1/4$ 波長より非常に小さい負荷への距離に整合回路網を配置することが不可能であれば、利点は、 $1/2$ 波長の整数の倍数 $n=1, 2, 3$ 、などに等しい伝送線路長を使用することにより、インピーダンスに関連した $1/2$ 波長の周期性であることである($\lambda/2, \lambda, 3\lambda/2$, など)。さらに正確には、好適な値は、 $\lambda/2 \sim (\lambda/2 + 0.05\lambda)$ 、 $\lambda \sim (\lambda + 0.05\lambda)$ 、 $3\lambda/2 \sim (3\lambda/2 + 0.05\lambda)$ などである。このような条件の下で、 $1/4$ 波長部分（あるいは、 $n\lambda/4$ 、 n は奇数）は、 Z_L を $Z_{in} = Z_0^2/Z_L$ であるように変換し、 Z_L は一般に小さく、非常に大きい Z_{in} を発生するので、整合回路網は、 $1/4$ 波長の奇数の整数($\lambda/4, 3\lambda/4, 5\lambda/4$)に配置すべきでない。その場合、整合回路網は、プラズマ負荷に整合することが出来ず、許容出来ない装置の共振と電力消費なしでは、電力をプラズマへ接続することは、非常に困難である。

【0028】また、電力の効率のよい接続に関して、帰路導電体32Oの内径（断面寸法）は、中心の導電体32Cの外径（断面寸法）よりあまり大きすぎではならな

い。簡単に言えば、真空室は、約50～800MHzのVHFあるいはUHFの電力を、整合回路31からプラズマ33へ接続している伝送線路構造体を組み入れている。伝送線路構造体は、(1)プラズマ・インピーダンスの望ましくない変換を防止するため、関係の周波数において、 $1/4$ 波長に比較して非常に短く、(2)プラズマと整合回路網との間の線路に持続的波動が存在することによる損失を抑えるために、選択された特性Z₀を有し、(3)中心の導電体の寸法よりあまり大きくない外側導電体の経路断面寸法を使用している。

4. 整合回路網

伝送線路構造体の物理的長さを、 $1/4$ 波長に比較して短く、すなわち、波長の $1/10$ あるいは $1/20$ より適切に小さく、あるいは、上述の $1/2$ 波長の倍数より僅かに大きく維持することにより、負荷が一般的な直列RCインピーダンスの場合、伝送線路回路網に接続した、僅かに誘導性の構成要素がある。普通、低抵抗性負荷と整合するには、し字回路網は、キャパシタンスと直列に接続したインダクタンスが必要である。しかし、非常に短い伝送線路構造体32は、非常に小さい抵抗あるいは低いインピーダンス負荷で終端しているため、それは、誘導性構成要素と抵抗性構成要素を整合回路網へ呈する。プラズマ33はRC負荷であるが、誘導性構成要素が存在することにより、整合回路網内にインダクタンスが必要であることは、削除される。これによって、二つの可変コンデンサより成る整合回路網が簡単に実施される。

【0029】図3と図4に関して、この好適な整合回路網31は、整合回路網の入力から接地へ接続した分流コンデンサC₁と、整合回路網の入力から整合回路網の出力へ接続した直列コンデンサC₂とより成るし字回路網であり、C₃は、伝送線路構造体32の入力へ直接に接続している。図3と図4に示された整合回路網の構成は、一般的な電源出力に50オームの抵抗インピーダンスと、一般的なプラズマ33に1～50オームの抵抗インピーダンス構成要素を設定しており、さらに一般的には、電源出力抵抗構成要素は、負荷抵抗構成要素より大きいことに注目されるべきである。プラズマ負荷インピーダンスZ₁の抵抗部が、電源の出力抵抗インピーダンスより大きい場合、整合回路網の入力と出力の結線は逆になる。

【0030】コンデンサC₁とC₂は、固定板と可動板より成る空気コンデンサであり、一般に、銅、あるいは銀メッキの銅板で形成されている。コンデンサC₁の固定板58は、整合回路網のケースあるいはハウジング35であり、接地に接続している。また、図1に関して、板57は、電源30からの入力部50へ接続しており、リアルタイムのZ₀、あるいは反映された電力にもとずいて、装置内蔵のコンピュータ60に制御されてモータM₁により経路62に沿って動くことが出来る。この入力

部は、板の分離の制御に、つまり、周知の方法でコンデンサのキャパシタンスの制御に使用される。テフロンTM、あるいは、ほかの適切な、低損失で、高い誘電強度の材料のシート61が、アーク防止のために、コンデンサ板57と58との間に挿入されている。注目される点は、図1に図示されているように、コンピュータ60（あるいは、分離したコンピュータ）が便利に使用されて、電源30の動作を制御し、関連の範囲内に適切な周波数を選択し、これによって、所定の処理に関して望まれる電圧と電力の組合せを選択することである。50～800MHzの広い周波数帯域から選択することにより電圧と電力を制御する能力により、非常に大きい処理の窓が開かれている。

【0031】同様に構成された直列のコンデンサC₂は、テフロンTMなどの材料で製作された、絶縁性、耐アーク性シート59より構成されており、その足部56は入力部50に接続して、コンデンサC₁のように、モータM₂により経路63に沿って動き、C₂のキャパシタンスを変化する。固定された足部55は、整合回路網の出力部52へ接続しており、出力部52は、図のように、下方へ伸張している導電柱53を係止するクリップ54より成っている。この柱は、陰極32Cの一部であるか、あるいは、その陰極へ電氣的に接続している。

【0032】一般に、いずれの可変コンデンサの足部は、銅などの材料で形成された導電性帯板により入力部50へ電氣的に接続している。反応室のハウジング12の底部と整合回路網ケース35の上部との間の環状電極64は、整合回路網31と外側導電体320を同じ電位へ、すなわち、装置の接地へ接続し、また、整合回路網と共に、出力接続部52は、伝送線路構造体32への整合回路網の必要な同軸ケーブル型接続あるいは終端を形成している。また、この構造体は、整合回路網を伝送線路構造体へ容量的に接続して、シース電圧が等しくない場合、DCバイアスを阻止する。

【0033】一般的なプロセス変数と50～400ファラドと直列の1～30オームの連結したプラズマRCインピーダンスに関して、C₁とC₂は、10～400ピコファラドの範囲で変化する。当然、非常に短い伝送線路の必要条件が適合されない場合、誘導子はC₂と直列に必要である。本分野のこれらの一般的な技術は、容易に引き出されて、本装置に適合する、ほかの、または、標準的整合回路の構成に使用される。例えば、選択使用の誘導子は、関係の低周波で動作する場合、C₂と直列に組み入れられる。また、整合回路網は、別のDCブロッキング・コンデンサも有することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本UHF/VHFプラズマ反応装置の構造図である。

【図2】図1の反応装置に組み込まれた伝送線路構造体の斜視図である。

13

【図3】適切な整合回路網の回路図である。

【図4】図3の回路図と物理的に同等のものを示す断面図である。

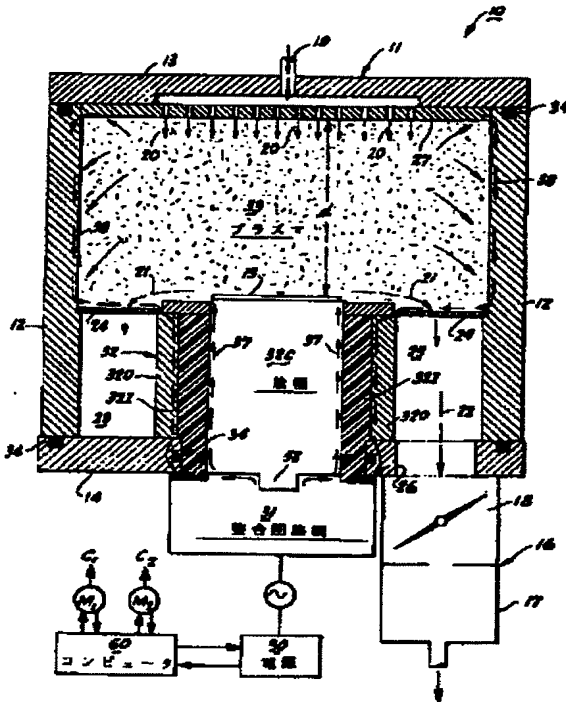
【参照番号】10 プラズマ処理反応装置

- 11 ハウジング
- 12 室壁
- 23 排気マニホールド
- 24 導電性スクリーン

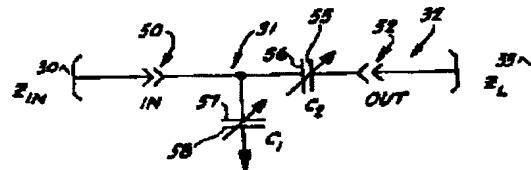
14

- 27 ガス取入れマニホールド
- 32 一体化同軸伝送線路構造体
- 32C ウェーハ支持電極
- 32I 絶縁体
- 32O 外側導電体
- 33 プラズマ室
- 31 整合回路網

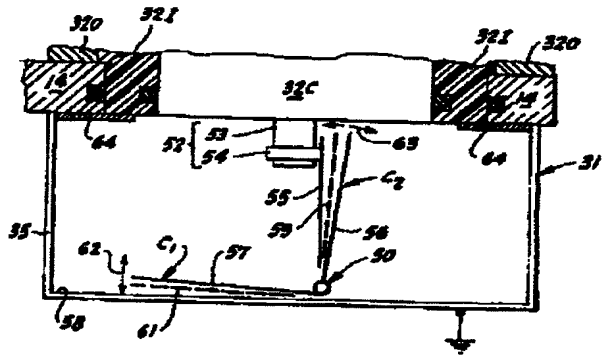
【図1】



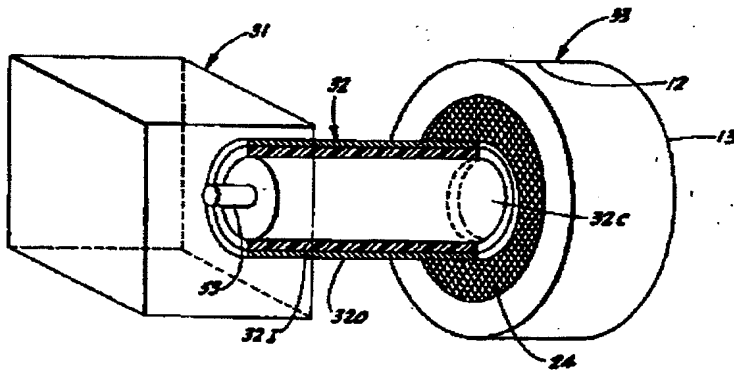
【図3】



【図4】



【図2】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. ³

H 0 1 L 21/31

識別記号

庁内整理番号

C 8518-4M

F I

技術表示箇所

(72) 発明者 クレイグ エイ ローデリック
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州
 95117 サン ホセ バインヴィュー ド
 ライヴ 776

(72) 発明者 チヤン ロン ヤン
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州
 95032 ロス ガトス カメリア テラス
 16569

(72) 発明者 デイヴィッド エヌ ケイ ワン
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州
 95070 サラトガ ソービー ロード
 15230

(72) 発明者 ダン メイダン
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州
 94022 ロス アルトス ヒルズ マリエ
 ツタ レーン 12000